

補助事業番号 2020M-165

補助事業名 2020年度 3Dプリンタ製機能性固体燃料を用いたハイブリッドロケットの閉ループ推力制御高度化実証補助事業 補助事業

補助事業者名 九州工業大学 小澤晃平

1 研究の概要

従来のハイブリッドロケットから得られるセンサ情報に加え、3Dプリンタ製固体燃料から燃料消費情報をリアルタイム検知し、その情報を用いた閉ループ制御の実現を目指している。本事業では、この技術の概念実証に用いるセンサ構造一体型の固体燃料の燃料消費速度情報の精度推定、現行の3Dプリンタで製造する円筒形状固体燃料に適用する場合の設計、センサとの接続手法、制御計測システムの設計、実証に用いるポリ乳酸燃料の基本的な燃料消費速度取得のための燃焼実験といった、一連の要素技術研究を実施した。

2 研究の目的と背景

様々な環境・推力計画で、ハイブリッドロケットの理論性能を十分に発揮するため、従来のエンジンシステムから得られるセンサ情報に加え、固体燃料から燃料消費情報をリアルタイム検知し、その情報を加えてエンジンの閉ループ制御をすることが提案されている。代表者らは、燃料情報の取得のため、多素材3Dプリンタでセンサ構造が一体となった固体燃料を用いることを提案している。本事業ではこの先進的なハイブリッドロケットの閉ループ技術の概念実証を目指して以下の研究開発を実施した。

3 研究内容

(1) 3Dプリント固体燃料/実験系の設計製作

(<http://www.mech.kyutech.ac.jp/rfd/hybridrocket.html>)

本事業の前身となる研究の成果として、矩形機能性固体燃料での燃料消費速度計測が前年度実証された。しかし、提案手法および検証手法で得た測定値の不確かさ評価は昨年度未着手であった。本事業では、これらの不確かさ要因を分類し、それぞれについて理論的に評価を行った。具体的には、提案する燃料消費測定手法の位置、後退検知時刻、比較手法で用いる映像の解像度、距離換算、液化燃料厚さ等の誤差などである。その結果を昨年度の成果と併せて国際会議で発表した。また、国内でも、11月と12月に学会発表を行い、成果を周知した。発表内容を査読論文としてまとめ、宇宙工学の国際学術誌に投稿した。

また、研究室の小型エンジンの規模でセンサと検知回路を接続するには、燃焼圧を保持するむき出しの固体燃料から直接固体燃料内部の回路へ配線することが好都合である。このため、3Dプリント固体燃料に樹脂コーティングを施した固体燃料単体の燃焼圧力保持を実証した。

続いて、昨年度までの知見をもとに、センサ部を持つ円筒形状固体燃料の試作を試みた。しか

し、使用している3Dプリンタは円筒形状固体燃料における回路構造の造形精度が低く、回路構造の設計の改良や、一般ユーザのレベルを超える高度なプログラミングが必要であることがわかった。造形精度を高める固体燃料内部センサ構造設計および、金属燃焼器越しからもセンサ信号を取り出せる設計を提案した。そのため、固体燃料をむき出しにして信号を取り出す事業開始時の方針から、金属燃焼器を使用する設計方針へと転換し、試作エンジンおよび酸化剤供給システムの設計を完了した。年度末までにエンジン設計、製造用素材の調達、他システム系の部品を調達し、学内工場に製造を依頼し、本年度を終えた。

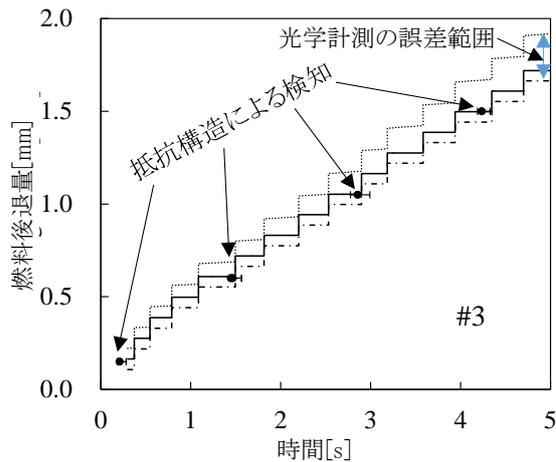


図1. 誤差評価を含めたセンサ構造と対照計測手法の燃料消費量計測の時間履歴.

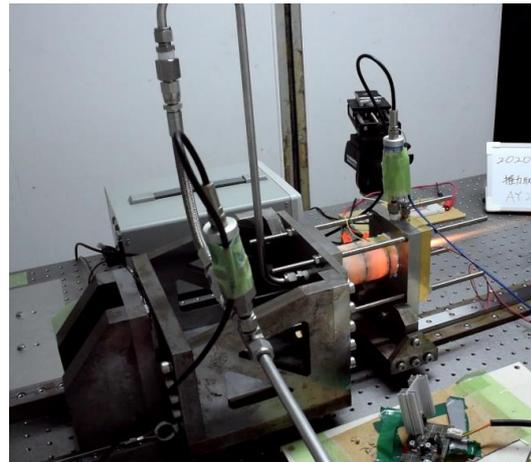


図2. 樹脂コーティングにより圧力保持機能を付加した3Dプリント燃料単体での燃焼実験.

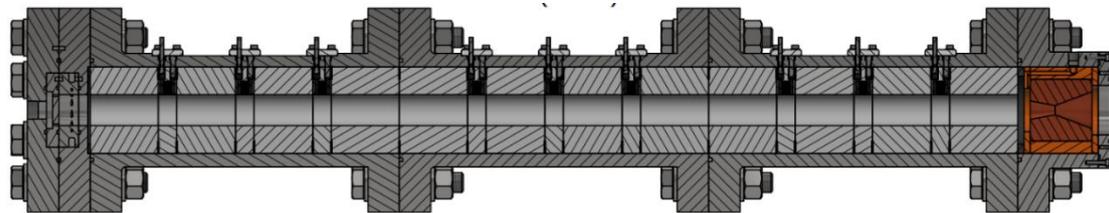


図3. 内圧を保持しつつ固体燃料からセンサ情報取り出しを実現する燃焼器構造および歩留まりを考慮した固体燃料設計の全体図.

(2) PLA固体燃料の燃料消費特性解明(<http://www.mech.kyutech.ac.jp/rfd/hybridrocket.html>)

多素材3Dプリント固体燃料にはFDM方式の3Dプリンタでよく用いられるポリ乳酸(PLA)を固体燃料としている。しかしそもそも、ハイブリッドロケットの動作条件とPLAの燃料消費特性の関係がこれまで調べられてこなかった。本事業では、複数の動作条件で燃焼実験を実施し、PLAの基本的な燃料消費特性を取得した。矩形燃料による燃焼実験データを組み合わせ、燃料消費速度特性の解析を行った。この結果をまとめ、火薬学会の査読付き国際誌へ投稿した。

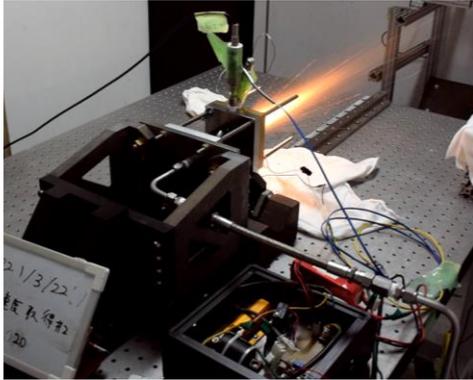


図1. 円筒形状固体燃料での燃焼実験.

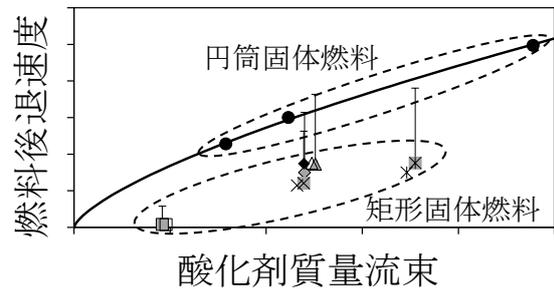


図2. 燃料消費速度特性.

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究で得た成果・知見はハイブリッドロケットエンジンを高性能化・高度化し、例えば、次のような形態で実用化するのに必要な知見となる：

1. 高い安全性を持ち、高効率かつ高度な制御が可能なHRエンジンシステムの開発に繋げることができる。例えば、ロケット各段にハイブリッドロケットを適用することで、打ち上げ・着陸システム全体を非火薬化して大幅に安全化することができる。
2. 地球圏外に投入する探査機等のキックモータに採用することで、従来の固体モータが放出していた微小デブリを大幅に削減するなど、地球近傍の軌道上環境の保全に重要な貢献をすることができる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

コロナ禍での事業実施となったため、事業者自身が4月6日から5月末まで在宅勤務であり、4月第1週以外は大学構内での実験系の作業が実施できなかった。さらに、研究室外から研究補助を自主的に本事業への参加を希望していた学生を受け入れる予定だったが、大学としては研究活動を含めた正課外活動を極力避ける指針もあり、当該学生が本事業に参画することは事実上困難であった。このような大学での研究活動の停止や補助者の不足もあり、当初の目標とした大きな技術実証としての大規模なシステム構築には至らなかった。一方、そのような環境でも小刻みながら成果を挙げ、トップジャーナルを含む英文査読誌に2報の査読論文を投稿できた。概ね良好な査読コメントを得ており、微修正のみで掲載が期待できる。現在のようなコロナ禍でも、成果を着実に積み上げ、次年度以降に閉ループ制御の実証を行いたい。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. Ozawa, K., Wang, H., Inenaga, T., Tsuboi, N., “Accuracy of Real-time Fuel Regression Measurement Function of a 3D Printed Solid Fuel,” AIAA Propulsion and Energy 2020

Forum, Virtual Event, AIAA 2020-3741, 2020.

2. 小澤晃平, 王瀚緯, 坪井伸幸, 多素材3Dプリンタ製燃料後退計測機能付き固体燃料の研究, 第29回スペース・エンジニアリング・コンファレンス, C1, オンライン開催, 2020.

3. 小澤晃平, 王瀚緯, 坪井伸幸, 多素材3Dプリンタ製燃料後退計測機能付き固体燃料の研究, 第3回 ハイブリッドロケットシンポジウム, HR-2020-03, オンライン開催, 2020.

他、査読付き国際誌2報を投稿中

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

該当なし

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：九州工業大学大学院工学研究院

(きゅうしゅうこうぎょうだいがくだいがくいんこうがくけんきゅういん)

住 所：〒804-8550

福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1

担 当 者：助教 小澤晃平(オザワコウヘイ)

担 当 部 署：機械知能工学研究系(きかいちのうこうがくけんきゅうけい)

E - m a i l : ozawa.kohei582@mail.kyutech.jp

U R L

バナー貼り付け先: http://www.mech.kyutech.ac.jp/rfd/ozawa_top.html

JKA広報資料のページ: http://www.mech.kyutech.ac.jp/rfd/JKA_report.html